



マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥がイチゴ果実の品質に及ぼす影響

著者	遠藤 みのり, 北谷 恵美, 佐志 治樹, 岡崎 壮大, 鶴田 隆治, 沖村 誠, 曽根 一純, 藤田 敏郎, 森下 昌三
雑誌名	九州沖縄農業研究センター報告
巻	64
ページ	13-19
発行年	2015-10-22
URL	http://doi.org/10.24514/00001809

doi: 10.24514/00001809

マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥がイチゴ果実の品質に及ぼす影響

遠藤(飛川)みのり・北谷恵美¹⁾・佐志治樹²⁾・岡崎壮大²⁾・鶴田隆治³⁾

沖村 誠・曾根一純・藤田敏郎・森下昌三

(2014 年 10 月 30 日 受理)

要 旨

遠藤(飛川)みのり・北谷恵美・佐志治樹・岡崎壮大・鶴田隆治・沖村 誠・曾根一純・藤田敏郎・森下昌三 (2015) マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥がイチゴ果実の品質に及ぼす影響。九州沖縄農研報告 **64**: 13 - 19.

マイクロ波減圧乾燥、真空凍結乾燥および両者を併用した複合乾燥により、国内のイチゴ 10 品種・系統の果実を用いて乾燥粉末を作成し、乾燥方法による品質、機能性成分、および機能性の違いを検討した。乾燥後重量比は「久留米 63 号」で大きく、「とよのか」および「もういっこ」で小さい傾向にあったが、それぞれの品種・系統内において乾燥方法間における有意差はなかった。乾燥前後の Brix 比および酸度比はいずれの品種・系統間および乾燥方法間においても有意な差はなかった。また、多くの品種・系統において、酸化および還元型アスコルビン酸含量ともに真空凍結乾燥処理区がマイクロ波減圧乾燥処理区を上回る傾向にあったものの、有意差はなかった。複合乾燥処理区は真空凍結乾燥処理区とマイクロ波減圧乾燥処理区の中間の値を示すものが多かった。なお、還元型アスコルビン酸含量は「さちのか」「さがほのか」真空凍結乾燥処理区および「おい C ベリー」マイクロ波減圧乾燥処理区が「桃薫」マイクロ波減圧乾燥処理区に対し有意に多かったが、酸化型アスコルビン酸含量は全ての品種・系統間で有意差がなかった。また、DPPH ラジカル消去活性はいずれの品種・系統においても、処理区間に有意な差がなかった。処理時間が短く、低コストな加工法であるマイクロ波減圧乾燥を用いることで、真空凍結乾燥に近い、品質低下の少ないイチゴ乾燥物を作ることができる可能性が示された。

キーワード：イチゴ、Brix、アスコルビン酸、抗酸化活性、マイクロ波減圧乾燥、複合乾燥、真空凍結乾燥

I. 緒 言

イチゴ果実にはラットにおいて抗アレルギー活性¹⁾や、ヒトにおいてコレステロール上昇抑制^{2, 3)}、抗酸化活性⁴⁾やそれによる疾患予防⁵⁾などの健康機能が認められており、特に抗酸化活性の機能性成分の一つとしてビタミン C が明らかにされている。日本食品標準成分表 2010⁶⁾では、食品中におけるビタミン C は L-アスコルビン酸(還元型、以下 AsA)と L-デヒドロアスコルビン酸(酸化型、以下 DHA)として存在するとされており、同表では AsA と DHA の合計値が示されている。このうちイチゴ生果における AsA には品種および収穫時期による差異が認められており、「さちのか」等は収穫時期を問わず高い AsA 含量を有する⁷⁾。また近年では「さちのか」を

育種母本に用いて、良食味・高収量性と高いビタミン C 含量を併せ持つ品種「おい C ベリー」等、機能性成分に着目した品種が育成されている⁸⁾。

一方、我が国におけるイチゴ生産は冬春期に集中しており、夏秋期は端境期となっている。また、生果は潰れやすく、腐敗のリスクがある。このためイチゴを通年安定的に効率よく利用するため、ジャムやピューレ、乾燥品など、さまざまな加工品の製造が試みられている。AsA は加熱により DHA に変化したのち分解することが知られているため⁹⁾、栄養学的には、イチゴ果実を加熱することなく加工することが望ましい。真空凍結乾燥(以下 FD)はイチゴ果実を加熱することなく乾燥することができる加工法であり、イチゴ果実に含まれる機能性成分を効率よく摂取する方法として適している。しかしな

がらイチゴ果実をFDにより加工する場合、エネルギー効率が悪いとともに加工時間が長大なものとなるため、加工が高コストになるという問題点がある。

マイクロ波乾燥は、高周波誘電加熱（分子間摩擦による熱）によって試料そのものを加熱する迅速・省エネルギーな乾燥方法であり、長年にわたり食品分野で利用されてきた¹⁰⁾。近年これを発展させて開発されたマイクロ波減圧乾燥（以下MVD）は、マイクロ波による水への選択的エネルギー供給と減圧を組み合わせることで常温乾燥を実現する方法であり、現在までにマイクロ波の間欠的照射や外気導入によってさらなる改良¹¹⁾が行われてきた。ホタテの貝柱を用いた研究^{11, 12)}により、MVDでは試料の表面層に過度の収縮を生じず、水分が内部から効率よく表面へ移動することが示されている。既報¹¹⁾では、試料表面を6.66 kPaの蒸発温度である約38℃、最大でも40℃ないし50℃以下に保ちながら乾燥を行うことにより、高温による細胞内外の浸透圧増加が抑制されることが確認されている。すなわち、試料を高品質に乾燥させることが期待される。イチゴ果実においては特定の乾燥条件および品種におけるMVDによる品質への影響の検討は行われている¹³⁾。しかしながら、MVDではマイクロ波照射量や照射パターンを変えることで乾燥温度や乾燥時間を調節することが可能であり、ひとくちにMVDと言ってもその乾燥条件は多様である。また、日本で育成された品種では検討されていないことから、知見は十分とは言い難い。さらに、FDにMVDを併用すること（以下複合乾燥）により、FDのさらなる高品質・迅速化が可能であると期待される。ここで言う複合乾燥とは、以下の3ステップ法を指す。すなわち、(1) 予備脱水として常温でMVDを施すことで、冷凍によって試料に大きな氷晶が生成される¹⁴⁾ことを抑制する¹⁵⁾。また、脱水された試料表面の細胞収縮層を補強剤にして収縮・変形を抑制する。(2) FDを行う。(3) 最後に再度MVDで仕上げ乾燥を行う。MVDとFDを併用した複合乾燥による食品中の機能性成分や機能性への影響の詳細な検討例は報告されていない。

本研究では安価かつ高品質なイチゴ乾燥品の製造を試みるため、国内におけるイチゴ10品種・系統について、一般に多収かつ安価となる晩春における果実を用いて比較的少ない照射量におけるMVDおよび複合乾燥を行い、FDとのBrix値、酸度、機能性成分含量および機能性の比較を行った。

Ⅱ．材料および方法

1．供試材料

材料には、‘おいCベリー’、‘かおり野’、‘久留米63号’、‘さがほのか’、‘さちのか’、‘桃薫’、‘とちおとめ’、‘とよのか’、‘紅ほっぺ’、‘もういっこ’を供試した。各品種・系統を2012年9月18日に定植し、慣行の促成栽培の耕種基準に従って肥培管理した。収穫は2013年5月14日～6月25日に計6回行った。収穫した果実のうち、6g以上の正常果または乱形果を、各品種・系統とも1回につきFD処理およびMVD処理にそれぞれ8果以上供試した。ただし、‘桃薫’は果実の大きさにかかわらず収穫した全ての正常果または乱形果を供試した。また、5月14日～6月11日に計4回収穫した果実のうち、‘おいCベリー’、‘さちのか’、‘とよのか’を複合乾燥処理区にそれぞれ8果ずつ供試した。収穫後の果実は、処理開始まで全て4℃で保存した。また、生果を手絞りにより搾汁し、ポケット糖度計PAL-1（株式会社アタゴ）でBrix値を測定した。さらに、果汁酸度計CAM-500（京都電子工業株式会社）で酸度を測定した。

2．試薬類

Trolox、トリフルオロ酢酸はシグマアルドリッチジャパン合同会社より、メタリン酸は片山化学工業（株）より、1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)、AsA標準品、過塩素酸およびその他の試薬は和光純薬工業（株）よりそれぞれ購入した。

3．乾燥および粉碎方法

FD区におけるFDはFD機EYELA FD-5N（東京理化工機株式会社）で、複合乾燥区におけるFDはFD機EYELA MWO-1000S（東京理化工機株式会社）で、MVDはマイクロ波減圧乾燥機3号機（九州工業大学伝熱研究室）で処理した。

FD処理区では、果実は収穫後24時間以上48時間以内に-40℃で冷凍し、入庫24時間後にFDで処理した。各回の試料投入量は、それぞれ809.3 g, 972.7 g, 671.5 g, 973.6 g, 766.4 g, 535.6 gとした。MVD処理区では、果実は収穫後24時間以上48時間以内にMVDで処理した。処理条件は200 W 65 ± 5分間、100 W 62.5 ± 2.5分間、50 W 40 ± 10分間、真空容器内圧力は2～3 kPaとし、試料内部が30℃以下になるよう制御した。各回の試料

投入量は、それぞれ 248.5 g, 214.6 g, 145.1 g, 153.4 g, 166.3 g, 131.2 g とした。複合乾燥処理区では、果実は収穫後 24 時間以上 48 時間以内に MVD による予備乾燥を行ったのち、-40℃で 24 時間冷凍し、FD で 12 時間処理し、MVD で仕上げ乾燥を行った。予備乾燥および仕上げ乾燥における MVD の処理条件はともに 100 W 以下とし、予備乾燥時間は試料の含水率比が 95% になるように 2～3 分間、仕上げ乾燥は含水率比が 2% 以下になるように 50 分間程度行った。含水率比は以下の式により算出した。

$$\text{含水率}(\%) = (\text{試料質量}(\text{g}) - \text{完全乾燥質量}(\text{g})) / \text{完全乾燥質量}(\text{g})$$

含水率比 = 各処理後の含水率(%) / 各処理前の含水率(%)
真空容器内圧力は 200 Pa 以下とし、試料表面が 30℃以下になるよう制御した。各回の試料投入量は、それぞれ 32.2 g, 35.0 g, 15.5 g, 26.1 g とした。

処理後の果実はファイバーミキサー MX-X48 および付属ミルコップ AVA14-200-W0 (パナソニック株式会社) で粉碎した。また、以下の式により乾燥後重量比を算出した。

$$\text{乾燥後重量比}(\%) = \text{乾燥後重量}(\text{g}) / \text{乾燥前重量}(\text{g}) \times 100$$

4. 成分含量および機能性の測定

イチゴ乾燥粉末を蒸留水で 10 倍 (w / v) 希釈したものについて、ポケット糖度計 PAL-1 (株式会社アタゴ) を用いて Brix 値を測定した。また、果汁酸度計 CAM-500 (京都電子工業株式会社) を用いて酸度を測定した。

乾燥粉末に含まれる AsA および DHA は、粉末を抽出液で 10 倍 (w / v) 希釈したものについて、永田¹⁶⁾の方法により HPLC を用いて定量した。抽出液は 5.6% メタリン酸とした。高速液体クロマトグラフ (株式会社島津製作所) の分析条件は以下のとおりとした。デガッサー:

DGU-14A, ポンプ: LC-10AD, オートサンブラ: SIL-10AXL, カラムオープン: CTO-10A, カラム温度およびポストカラム反応温度: 40℃, 検出器: SPD-10A, カラム: Unison UK-C18 (3 μ m, 4.6 mm \times 150 mm; インタクト株式会社), 検出波長: 300 nm, 溶離液: 2 mM 過塩素酸, 溶離液の流速: 1.0 ml / min, 反応液の流速: 0.5 ml / min。

乾燥粉末の抗酸化活性は、DPPH ラジカル消去活性により評価した。乾燥粉末に抽出液を加えたのち、80℃で 1 時間温浴し、4℃で 10000 rpm, 15 分間遠心分離して得た上清を試料液として供試した。抽出液は、80% メタノールに 0.1% トリフルオロ酢酸を加えたものとした。既報¹⁷⁾に従い、96 穴マイクロプレート各セルに 2 倍希釈した試料液 (X μ l), 40% メタノール (50-X μ l), 200mM MES 緩衝液 50 μ l, 100% エタノール 50 μ l を順次加え、800 μ M DPPH/ エタノール 50 μ l を加えて反応させ、室温で 20 分間放置後、520 nm における吸光度を測定した。また、DPPH 溶液の代わりにエタノールを加え、試料 X μ l 添加時における吸光度を求めた。吸光度の測定には Synergy HT マルチモードマイクロプレートリーダー (BioTek) および Gen5 データ解析ソフトウェア ver. 2.00.18 (BioTek) を用いた。試料添加量を横軸、試料自身に由来する吸収を補正した 520 nm の吸光度を縦軸としたプロットにおいて、直線的に吸光度が減少する範囲で溶液添加 X μ l に対する吸光度の低下量を求め、それに相当する Trolox 量を乾燥粉末 1 g あたりについて算出した。

Ⅲ. 結果および考察

1. イチゴ生果および乾燥粉末の特性

供試したイチゴ生果の特性を表 1 に、乾燥粉末の特性

第 1 表 真空凍結乾燥, マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥に供試したイチゴ果実の果重, 糖度および酸度

品種・系統名	果重(g)		Brix (%)		酸度(%)	
	平均	CV	平均	CV	平均	CV
おいCベリー	7.5	0.44	11.4	0.33	0.92	0.25
かおり野	9.7	0.25	11.8	0.16	0.71	0.08
久留米63号	8.2	0.16	14.3	0.08	0.99	0.15
さがほのか	9.0	0.41	9.9	0.15	0.77	0.14
さちのか	8.1	0.18	12.3	0.20	0.89	0.17
桃薫	4.7	0.16	10.8	0.44	1.00	0.23
とちおとめ	11.1	0.36	11.9	0.12	0.92	0.27
とよのか	9.7	0.24	9.3	0.10	1.01	0.14
紅ほっぺ	11.0	0.40	12.4	0.08	0.94	0.11
もういっこ	9.8	0.25	10.0	0.15	0.73	0.17

を表2に示す。イチゴ果実の重量は、乾燥前の10.4から14.8%となった。乾燥後重量比は‘久留米63号’で大きく、‘とよのか’および‘もういっこ’で小さい傾向にあったが、それぞれの品種内において乾燥方法間における有意差はなかった。これにより、いずれの品種および乾燥方法においても、乾燥粉末の品質は同傾向であることが示唆された。

2. AsA・DHA含量

多くの品種・系統において、AsA・DHA含量ともにFD処理区がMVD処理区を上回る傾向にあったものの、いずれの品種・系統においても処理区間に有意差がなかつ

た。複合乾燥処理区はFD処理区とMVD処理区の中間的な値を示すものが多かった。なお、AsA含量は‘さちのか’FD処理区、‘さがほのか’FD処理区および‘おいCベリー’MVD処理区が‘桃薫’MVD処理区に対し有意に多かったが、DHA含量はいずれの品種・系統間においても有意差はなかった(表3)。これら一部品種で見出されたAsA含量の差は、乾燥前の生果中におけるAsA含量の品種間差⁷⁾に基づくものと考えられ、DHAに比べ含量の多いAsAでは含量差が顕著だったと考えられる。

また、DHA含量の変動係数はAsA含量の変動係数に比べて大きかった(表4)。

第2表 真空凍結乾燥、マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥により作成したイチゴ粉末の特性

品種・系統名	加工方法 ^{a)}	乾燥後重量比(%)	粉末	
			Brix (%)	酸度 (%)
おいCベリー	FD	13.1 ab	7.1 n.s.	0.86 n.s.
	MVD	12.4 ab	7.2 n.s.	0.82 n.s.
	複合	13.0 ab	6.7 n.s.	0.83 n.s.
かおり野	FD	11.8 ab	7.5 n.s.	0.60 n.s.
	MVD	12.3 ab	7.5 n.s.	0.74 n.s.
久留米63号	FD	14.5 ab	5.5 n.s.	0.66 n.s.
	MVD	16.1 a	7.5 n.s.	1.05 n.s.
さがほのか	FD	10.7 b	5.9 n.s.	0.61 n.s.
	MVD	11.9 ab	5.8 n.s.	0.70 n.s.
さちのか	FD	12.9 ab	7.5 n.s.	0.96 n.s.
	MVD	14.8 ab	7.8 n.s.	0.77 n.s.
	複合	12.9 ab	7.1 n.s.	0.69 n.s.
桃薫	FD	11.1 ab	5.8 n.s.	0.84 n.s.
	MVD	12.5 ab	7.9 n.s.	1.09 n.s.
とちおとめ	FD	11.5 ab	5.7 n.s.	0.61 n.s.
	MVD	11.8 ab	5.9 n.s.	0.99 n.s.
とよのか	FD	10.4 b	6.2 n.s.	0.95 n.s.
	MVD	12.1 ab	7.3 n.s.	0.81 n.s.
	複合	12.6 ab	7.2 n.s.	0.84 n.s.
紅ほっぺ	FD	12.8 ab	5.4 n.s.	0.62 n.s.
	MVD	13.2 ab	6.2 n.s.	0.82 n.s.
もういっこ	FD	10.6 b	6.0 n.s.	0.80 n.s.
	MVD	11.3 ab	6.9 n.s.	0.91 n.s.

注：表中の異なる英小文字間には Tukey 法により 5% 水準で有意差があることを示す。 a) FD：真空凍結乾燥，MVD：マイクロ波減圧乾燥，複合：複合乾燥

第3表 真空凍結乾燥、マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥により作成したイチゴ粉末のアスコルビン酸およびデヒドロアスコルビン酸含量

		含量(mg/100gDW)									
		おいCベリー	かおり野	久留米63号	さがほのか	さちのか	桃薫	とちおとめ	とよのか	紅ほっぺ	もういっこ
総量 ^{a)}	FD	365.1 n.s.	342.2 n.s.	257.5 n.s.	372.0 n.s.	397.3 n.s.	265.0 n.s.	318.8 n.s.	286.4 n.s.	353.7 n.s.	293.1 n.s.
	MVD	370.9 n.s.	360.7 n.s.	237.0 n.s.	317.9 n.s.	272.1 n.s.	206.9 n.s.	268.5 n.s.	243.9 n.s.	313.4 n.s.	274.4 n.s.
	複合	349.8 n.s.	—	—	—	296.7 n.s.	—	—	307.1 n.s.	—	—
DHA ^{a)}	FD	111.0 n.s.	67.0 n.s.	64.4 n.s.	94.3 n.s.	92.8 n.s.	97.0 n.s.	86.6 n.s.	84.2 n.s.	97.3 n.s.	68.7 n.s.
	MVD	86.6 n.s.	100.8 n.s.	65.0 n.s.	71.6 n.s.	53.1 n.s.	68.8 n.s.	55.5 n.s.	56.9 n.s.	61.8 n.s.	57.5 n.s.
	複合	77.9 n.s.	—	—	—	58.1 n.s.	—	—	78.8 n.s.	—	—
AsA ^{a)}	FD	254.1 ab	275.2 ab	193.1 ab	277.7 a	290.3 a	168.0 ab	232.2 ab	202.2 ab	256.5 ab	224.5 ab
	MVD	284.3 a	259.9 ab	171.9 ab	246.2 ab	233.6 ab	138.1 b	213.0 ab	186.9 ab	251.5 ab	216.9 ab
	複合	271.9 ab	—	—	—	238.6 ab	—	—	228.3 ab	—	—

注：表中の異なる英小文字間には Tukey 法により 5% 水準で有意差があることを示す。 a) FD：真空凍結乾燥，MVD：マイクロ波減圧乾燥，複合：複合乾燥

3. 抗酸化活性

DPPH ラジカル消去活性はいずれの品種・系統においても、処理区間に有意な差がなかった(表5)。

以上のことから、本報告における乾燥条件で MVD およびこれと FD を併用した複合乾燥を用いることで、真空凍結乾燥を用いる場合に近い品質を持つイチゴ乾燥物を作ることができる可能性が示された。Böhm ら¹³⁾ は MVD で処理したイチゴ果実は FD で処理したイチゴ果実に比べ有意に AsA 含量および DPPH ラジカル消去活性が低下すると報告しているが、Böhm ら¹³⁾ が試験に用いた MVD は、前処理および仕上げ乾燥として最大 60℃ で 100 分間または最大 55℃ で 130 分間の熱風乾燥を併用するものであった。食品中に含まれる AsA は、容易に DHA へ酸化されたのち分解される^{18, 19)}。この反応は温度の影響を受け⁹⁾、低温条件下で抑制されることが知られている^{20, 21)}。本報告で試みた乾燥方法のうち、MVD では前処理乾燥や仕上げ乾燥を組み込まないこと、複合乾燥では前処理乾燥や仕上げ乾燥を MVD によって行うことによって加熱を避け、AsA 含量および DPPH ラジカル消去活性の大幅な低下を防ぐことができたと考えられる。

一般に FD は熱の供給が制限されるため、乾燥時間が長い。また、機械および設備が高価であることから他の乾燥法に比べ高コストであり、乾燥物の価格の高さは利用拡大において障壁となる。本報告では、FD の乾燥時間は約 72 時間であったのに対し、MVD は約 3 時間、複

合乾燥は約 15.3 時間であった。MVD および複合乾燥中の MVD では、乾燥装置内に少量の外気を導入し、蒸発した蒸気を効率的に排出したことで¹¹⁾、乾燥時間を大幅に削減できたと考えられる。このように、FD の代替として MVD や複合乾燥を用いることは、乾燥時間および乾燥時間分の電気料金の削減に繋がり、コストダウンの有効な手段になると考えられる。

消費者の健康への意識の高まりにより、今後は‘おい C ベリー’に代表されるように高い健康機能性を有するイチゴ品種が育成されることが予想される⁸⁾。健康機能性成分の含有量の減少を抑える低コストな加工技術の開発は、このような品種を活用する上で役立つと考えられる。イチゴの需要拡大や有効な利活用のため、今後は本報告で触れなかった乾燥物の色彩を始めとする外観および香気成分などの検討をふまえ、MVD の普及および乾燥条件のより詳細な検討が望まれる。

引用文献

- 1) A. Iwamoto, A. Inoue, Y. Inoue, K. Yamada, H. Tachibana, H. Kawahara (2013) Anti-allergic effect of strawberry extract. J. Funct. Foods. **5** (4): 1947 – 1955.
- 2) A. Basu, M. Wilkinson, K. Penugonda, B. Simmons, N. M. Betts, T. J. Lyons (2009) Freeze-dried strawberry powder improves lipid profile and lipid

第4表 真空凍結乾燥、マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥により作成したイチゴ粉末のアスコルビン酸およびデヒドロアスコルビン酸含量における変動係数

		最大	最小	平均
AsA含量 ^{a)}	FD	0.30	0.10	0.15
	MVD	0.27	0.09	0.19
	複合乾燥	0.17	0.04	0.09
	全体	0.30	0.04	0.16
DHA含量 ^{a)}	FD	0.64	0.20	0.41
	MVD	0.78	0.29	0.47
	複合乾燥	0.75	0.23	0.46
	全体	0.78	0.20	0.44

注：a) FD：真空凍結乾燥，MVD：マイクロ波減圧乾燥，複合：複合乾燥

第5表 真空凍結乾燥、マイクロ波減圧乾燥および複合乾燥により作成したイチゴ粉末の抗酸化活性

	DPPHラジカル消去活性(μmol-TE/g-DW)									
	おいCベリー	かおり野	久留米63号	さがほのか	さちのか	桃薫	とちおとめ	とよのか	紅ほっぺ	もういっこ
FD ^{a)}	189.5 n.s.	158.1 n.s.	138.2 n.s.	178.3 n.s.	179.8 n.s.	171.9 n.s.	166.6 n.s.	150.0 n.s.	144.6 n.s.	219.3 n.s.
MVD ^{a)}	180.4 n.s.	155.3 n.s.	162.3 n.s.	154.2 n.s.	165.1 n.s.	175.3 n.s.	163.4 n.s.	184.8 n.s.	171.7 n.s.	207.7 n.s.
複合 ^{a)}	181.5 n.s.	-	-	-	160.9 n.s.	-	-	195.7 n.s.	-	-

注：a) FD：真空凍結乾燥，MVD：マイクロ波減圧乾燥，複合：複合乾燥

- peroxidation in women with metabolic syndrome : baseline and post intervention effects. *Nutr. J.* **8** : 43.
- 3) A. Basu, M. Du, M. Wilkinson, B. Simmons, M. Wu, N. M. Betts, D. X. Fu, T. J. Lyons (2010) Strawberries decrease atherosclerotic markers in subjects with metabolic syndrome. *Nutr. Res.* **30**(7) : 462 – 469.
- 4) G. Cao, R. M. Russell, N. Lischner, R. L. Prior (1998) Serum Antioxidant Capacity Is Increased by Consumption of Strawberries, Spinach, Red Wine or Vitamin C in Elderly Women. *J. Nutr.* **128** (12) : 2383 – 2390.
- 5) A. Basu, M. Rhone, T. J. Lyons (2010) Berries : emerging impact on cardiovascular health. *Nutr. Rev.* **68** (3) : 168 – 177.
- 6) 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会 (2010) 日本食品標準成分表 2010. 文部科学省, 東京.
- 7) 曾根一純・望月龍也・野口裕司 (1999) イチゴ果実におけるビタミンC 含量の品種間差異および収穫時期による変動特性. *園学雑.* **68** (5) : 1007 – 1014.
- 8) 曾根一純 (2011) 7 粒で1 日分のビタミンC を摂取できるイチゴ新品種「おいC ベリー」. *農耕と園芸.* **66** (4) : 46 – 50.
- 9) 一瀬義文・馬場輝子 (1958) 酸化型ビタミンC の分解に関する研究 (第1 報) 煮沸の際の分解について. *栄養と食糧.* **11** (2) : 75 – 77.
- 10) 林弘通 (2008) マイクロ波乾燥機. 「食品と乾燥」(木村進・亀和田光男監修, 石谷孝佑・土田茂・林弘通編著) 79 – 81. 光琳, 東京.
- 11) 鶴田隆治・林伊久 (2006) 間欠照射と外気導入によるマイクロ波減圧乾燥の乾燥促進. *日本機械学会論文集 (B 編).* **72** (723) : 2761 – 2766.
- 12) 林伊久・鶴田隆治 (2006) 海産物の乾燥過程における内部輸送抵抗性の評価 (マイクロ波減圧乾燥と温風乾燥との比較). *日本機械学会論文集 (B 編).* **72** (721) : 2249 – 2255.
- 13) Böhm V., Kühnert S., Rohm H., Scholza G. (2006) Improving the Nutritional Quality of Microwave-vacuum Dried Strawberries : A Preliminary Study. *Food Sci. Tech. Int.* **12** (1) : 67 – 75.
- 14) R. A. Bello, J. H. Luft, G. M. Pigott (1982) Ultrastructural study of skeletal fish muscle after freezing at different rates. *J. Food Sci.* **47** (5) : 1389 – 1394.
- 15) Hamidi N.・鶴田隆治 (2009) 冷凍過程の氷晶成長に及ぼすマイクロ波予備乾燥の影響. *日本機械学会論文.* **75** (755) : 119 – 124.
- 16) 永田雅靖 (2013) ODS 系カラムによるビタミンC の高速液体クロマトグラフィー分析. *日食工誌.* **60** (2) : 96 – 99.
- 17) 沖智之・増田真美・古田収・西場洋一・須田郁夫 (2001) 紫サツマイモを原材料としたチップスのラジカル消去活性. *日食工誌.* **48** (12) : 926 – 932.
- 18) T. Kurata, Y. Sakurai (1967) Degradation of L-Ascorbic Acid and Mechanism of Nonenzymic Browning Reaction Part III. Oxidative Degradation of L-Ascorbic Acid (Degradation of Dehydro-L-ascorbic Acid). *Agric. Biol. Chem.* **31** (2) : 177 – 184.
- 19) 倉田忠男 (1976) L-アスコルビン酸の分解および着色反応機構. *農化.* **50** (10) : R209 – R216.
- 20) K. S. Lee, A. A. Kader. (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* **20** : 207–220.
- 21) R.B.H. Wills, P. Wimalasiri, H. Greenfield (1984) Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total vitamin C activity. *J. Agric. Food Chem.* **32** : 836–838.

Effects of microwave-vacuum drying, freeze-drying, and their combination on the quality of strawberries

Minori Hikawa-Endo, Emi Kitadani¹⁾, Haruki Sashi²⁾, Takehiro Okazaki²⁾
Takaharu Tsuruta³⁾, Makoto Okimura, Kazuyoshi Sone, Toshiro Fujita and Masami Morishita

Summary

Ten Japanese strawberry cultivars were processed by microwave-vacuum drying, vacuum-freeze drying, and combined drying to measure the quality, functional components, and functionality. There were no significant differences in weight ratio between all cultivars and between drying methods, although “Kurume No. 63” tended to be bigger than other cultivars, and “Toyonoka” and “Mouikko” tended to be smaller. There were no significant differences in the Brix or acidity between all cultivars and drying methods. There were also no significant differences in ascorbate or dehydroascorbate content between all drying methods, although microwave-vacuum dried strawberries tended to have higher content than freeze-dried strawberries in most of the cultivars. Though freeze-dried “Sachinoka” and “Sagahonoka” and microwave vacuum-dried “Oishi berry” had significantly higher ascorbate content than microwave vacuum-dried “Toukun,” there were no significant differences in dehydroascorbate content between all cultivars and drying methods. Hybrid drying values were intermediate between microwave vacuum-drying and freeze-drying. There were no significant differences in 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activities in all cultivars and drying methods. These results suggest that microwave-drying under reduced pressure, a speedy and low-cost drying method, is an effective method to produce products equal to freeze-dried strawberries.

Key words : strawberry, Brix, ascorbic acid, antioxidant activity,
microwave vacuum-drying, hybrid drying, vacuum freeze-drying

Horticulture Research Division, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, 1823-1 Miimachi, Kurume, Fukuoka 839-8503, Japan.

1) Retired, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center

2) Department of Mechanical and Control Engineering, Kyushu Institute of Technology

3) Department of Mechanical and Control Engineering, Kyushu Institute of Technology